

学校编码: 10384
学号: 19820081153047

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 Blackfin 的脉搏波辅助分析仪研制

Design of Assistant Instrument for Analyzing Pulse Wave
Based on Blackfin

林贤体

指导教师姓名: 肖 芬 教授
专 业 名 称: 电磁场与微波技术
论文提交日期: 2011 年 5 月
论文答辩时间: 2011 年 5 月
学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

近年来,心血管疾病已经成为我国居民主要的健康杀手,而脉搏波呈现出的形状、强度、节律和速率等信息能够反映出人体心血管系统的功能状态。因此,无论在中医或西医中,检测和分析脉搏信号都是诊疗心血管疾病的重要手段。目前,脉搏诊断通常是通过大型的医疗器械来进行的,仪器存在体积大、价格昂贵等不足。针对目前脉搏诊断仪器的现状,本文设计并制作了一种便携式的脉搏波辅助分析仪。

本文所研制的脉搏波辅助分析仪,可实现脉搏信号的采集及显示,具备对脉搏信号进行频谱分析的功能,并能够计算脉搏信号的波形特量及脉搏速率。这些功能满足了一般脉搏诊断的需求。

脉搏波辅助分析仪的硬件部分由处理器电路、显示电路和脉搏信号采集电路组成:处理器电路及显示电路采用 ADI 公司的 BF533 开发平台实现;自行设计的脉搏信号采集电路采用 PVDF 脉搏传感器和 HT46RU232 单片机实现,采集精度为 8 位,采样速率为每秒采样 100 次。

脉搏波辅助分析仪在软件上采用嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 及图形界面 $\mu\text{C}/\text{GUI}$;脉搏信号的频谱分析通过快速傅里叶变换实现;采用自适应分离法提取一个周期的脉搏信号,并在此基础上计算波形特征量。

本文研制的脉搏波辅助分析仪具有脉搏波的时频域分析功能,可以作为中医脉诊客观化及脉搏波频域特征研究的辅助工具。同时,分析仪具有携带方便,成本低廉的优点,在家庭和社区医疗中具有一定的应用价值。

关键词: 脉搏波; BF533; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; $\mu\text{C}/\text{GUI}$

Abstract

Cardiovascular disease has become the primary illness to human health in China. As the pulse wave can imply a lot of informations about the human cardiovascular system, people can usually obtain the user's cardiovascular parameters by detecting and analyzing the pulse wave signal. At present, the pulse parameters are usually obtained by the medical equipment which is large-scale and expensive. After analyzing the current situation of clinical equipment, this paper designed a portable instrument for analyzing pulse wave.

The instrument which is described in this paper can acquire pulse wave signal and display it. The instrument can also analyse the spectrum of pulse wave, calculate the K value and pulse rate.

The hardware of instrument includes processor module, display module and acquisition module. The processor of instrument is BF533 which is produced by ADI; the instrument used DM-EDU-SSK platform as the processor module and display module. The acquisition module is achieved by HT46RU232 and pulse sensor, its sampling accuracy is 8 bits, acquisition frequency is 100 Hz.

The operate system of this instrument is uC/OS-II, and it used uC/GUI as its Graphics User Interface. The spectrum analyzing is achieved by the library function of FFT. To obtain a period of pulse wave, the instrument used Adaptive separation, then calculate the K value.

The instrument for analyzing pulse wave designed in this paper can analyse the pulse wave in time domain and frequency domain. It could be an assistant instrument in pulse wave diagnosing and researching. Otherwise, this portable and cheap instrument may be used in Family and Community Health.

Key Words: Pulse Wave; BF533; uC/OS-II; uC/GUI.

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 脉搏波检测的意义.....	1
1.2 脉搏波检测的方法.....	1
1.2.1 时域分析法.....	2
1.2.2 频域分析法.....	3
1.3 本论文的主要内容及意义.....	3
第二章 分析仪总体构成	5
2.1 分析仪系统方案设计.....	5
2.2 Blackfin处理器硬件平台	6
2.2.1 BF533 芯片介绍.....	6
2.2.2 BF533 硬件平台	7
2.3 嵌入式操作系统的选择.....	8
2.4 本章小结.....	9
第三章 脉搏信号采集模块研制	10
3.1 脉搏信号采集模块总体设计.....	10
3.2 脉搏传感器.....	10
3.2.1 脉搏传感器的选择.....	10
3.2.2 HK-2000B+脉搏传感器应用电路	12
3.3 单片机控制模块的硬件设计.....	13
3.3.1 HT46RU232 单片机最小系统.....	14
3.3.2 串口通信电路设计.....	14
3.3.3 电源模块设计.....	15
3.4 单片机控制模块的程序设计.....	16
3.4.1 控制程序框架.....	16
3.4.2 UART子程序.....	17
3.4.3 A/D转换子程序.....	18

3.4.4 定时器子程序.....	18
3.5 脉搏信号采集模块的测试.....	19
3.6 本章小结.....	20
第四章 底层驱动程序的编写	21
4.1 BF533 工作时钟的设置.....	21
4.2 BF533 驱动SDRAM	22
4.2.1 SDRAM内部结构分析	22
4.2.2 Blackfin驱动SDRAM.....	23
4.3 BF533 驱动TFT-LCD.....	25
4.3.1 TFT-LCD驱动方式.....	25
4.3.2 BF533 与TFT-LCD的硬件接口.....	26
4.3.3 TFT-LCD驱动程序设计	27
4.4 触摸屏驱动设计.....	33
4.4.1 触摸屏驱动概述.....	33
4.4.2 ADS7843 驱动程序设计	34
4.5 本章小结.....	36
第五章 嵌入式操作系统uC/OS-II及uC/GUI的移植	37
5.1 uC/OS-II在BF533 平台上的移植.....	37
5.1.1 uC/OS-II的内核结构.....	37
5.1.2 uC/OS-II的移植过程.....	38
5.1.3 uC/OS-II移植代码的测试.....	42
5.2 uC/GUI在BF533 平台上的移植.....	43
5.2.1 uC/GUI的特点及构成.....	43
5.2.2 uC/GUI的移植.....	44
5.2.3 uC/GUI移植结果的测试.....	48
5.3 本章小结.....	48
第六章 分析仪各功能的实现	50
6.1 分析仪用户界面的设计.....	50

6.2 脉搏波采集及波形显示.....	52
6.3 脉搏的频谱分析.....	54
6.3.1 快速傅里叶变换.....	54
6.3.2 脉搏信号的频谱分析.....	56
6.4 脉搏波波形特征分析.....	58
6.4.1 单周期脉搏信号的识别.....	58
6.4.2 脉搏波波形特征分析的实现.....	59
6.5 本章小结.....	60
第七章 总结与展望	61
7.1 总结.....	61
7.2 展望.....	61
参考文献.....	63
硕士研究生期间科研成果	66
致 谢.....	67

CONTENTS

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Significance of Pulse Wave Detecting	1
1.2 Methods of Pulse Wave Detecting	1
1.2.1 Time domain analysis	2
1.2.2 Frequency domain analysis.....	3
1.3 Main Contents and Significance	3
Chapter 2 Design of System	5
2.1 Overall Design of System.....	5
2.2 Platform of Blackfin Processor	6
2.2.1 BF533.....	6
2.2.2 Platform of BF533	7
2.3 Choice of Operating System.....	8
2.4 Summary.....	9
Chapter 3 Design of Acquisition Module.....	10
3.1 Overall Design of Acquisition Module	10
3.2 Pulse Sensor	10
3.2.1 Choice of Pulse Sensor	10
3.2.2 Application of HK-2000B+	12
3.3 Hardware Design of MCU Module	13
3.3.1 Minimum System of HT46RU232.....	14
3.3.2 Design of UART Circuit	14
3.3.3 Design of Power Circuit.....	15
3.4 Software Design of MCU Module.....	16
3.4.1 Framework of MCU Program.....	16
3.4.2 Program of UART.....	17
3.4.3 Program of A/D.....	18

3.4.4 Program of Timer	18
3.5 Test of Acquisition Module	19
3.6 Summary	20
Chapter 4 Program of Driver	21
4.1 Setting of BF533 Clock	21
4.2 Driver of SDRAM	22
4.2.1 Structure of SDRAM	22
4.2.2 Driver of SDRAM by Blackfin	23
4.3 Driver of TFT-LCD by BF533	25
4.3.1 Driver of TFT-LCD	25
4.3.2 Interface of TFT-LCD	26
4.3.3 Program of TFT-LCD Driver	27
4.4 Driver of Touch Panel	33
4.4.1 Touch Panel	33
4.4.2 Driver of ADS7843	34
4.5 Summary	36
Chapter 5 Porting of uC/OS-II and uC/GUI	37
5.1 Porting of uC/OS-II on BF533	37
5.1.1 Structrue of uC/OS-II Kernel	37
5.1.2 Porting of uC/OS-II	38
5.1.3 Test for uC/OS-II	42
5.2 Porting of uC/GUI on BF533	43
5.2.1 Structrue of uC/GUI	43
5.2.2 Porting of uC/GUI	44
5.2.3 Test for uC/GUI	48
5.3 Summary	48
Chapter 6 Achivement of Instrument Functions	50
6.1 Design of User Interface	50

6.2 Acquisition and Display of Pulse Wave	52
6.3 Spectrum Analyzing of Pulse Wave	54
6.3.1 Fast Fourier Transform	54
6.3.2 Spectrum of Pulse Wave	56
6.4 The K Value of Pulse Wave	58
6.4.1 Identification of Single Period Pulse Wave	58
6.4.2 Calculation of K Value	59
6.5 Summary	60
Chapter 7 Conclusion and Expectation	61
7.1 Conclusion	61
7.2 Expectation	61
References	63
Publications	66
Acknowledgements	67

第一章 绪论

1.1 脉搏波检测的意义

随着经济社会快速发展,我国居民生活水平不断提高,人们的生活方式及饮食结构不断改变,同时伴随着高血压、冠心病和动脉硬化等心血管疾病的发病率越来越高,并出现低龄化的趋势。据统计,2009年我国城市居民因疾病而死亡的人数中,有41.13%是心血管疾病引起的^[1],如图1.1所示。

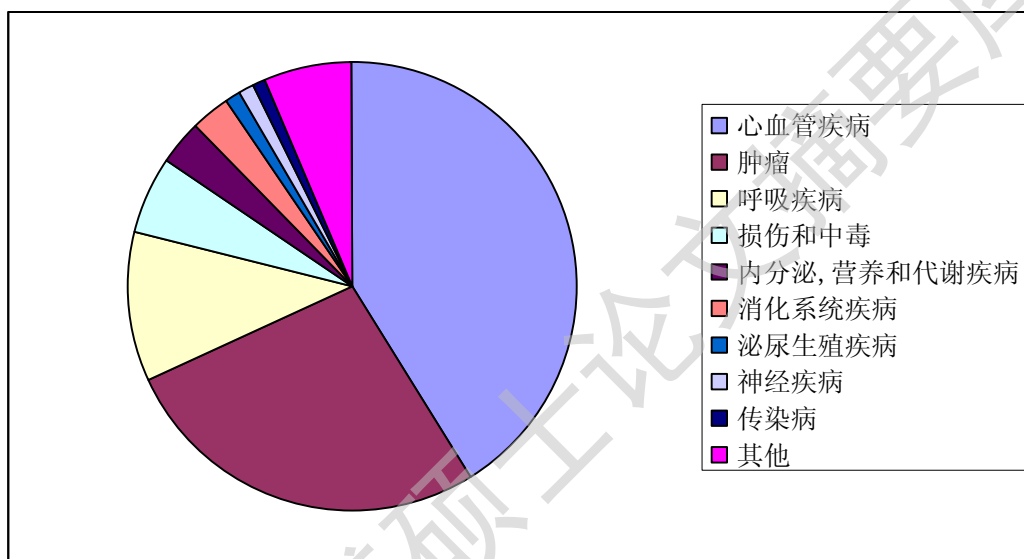


图 1.1 2009 年我国城市居民主要疾病死因构成

人体的心血管系统包括心脏、血管和血液,它是人体的动力系统。心脏周期性地收缩和舒张,使血液在血管中以波的形式传播,这就形成了脉搏波。脉搏波在血管中传播时,会在各级血管中产生反射;因此,脉搏波不仅受到心脏的影响,同时受各级血管的血管阻力、血管壁弹性以及血液黏性等影响^[2]。所以,检测脉搏波将得到大量心血管系统的生理病理信息,对心血管疾病的诊断和治疗具有重要的意义。

1.2 脉搏波检测的方法

在中外医学界,历来都有通过脉搏波提取人体生理病理信息作为临床诊断及治疗依据的方法^[3]。中医的脉诊更是历史悠久,切脉的诊断方法早在公元前五世纪就已开创。在中医脉诊中,医生以自身的手指作为传感器,通过指端的触觉,对患者的脉速以及左、右手掌后桡动脉寸、关和尺三个部位的脉动压力和分布情况进行检测,通常医生会变化指法以检测桡动脉在不同干扰力下的脉

搏状态。由于中医脉诊以手指为工具，以医生的经验作为判断依据，存在较强的主观性。因此，近年来，越来越多中医脉诊客观化的研究受到重视并得到开展^{[4][5]}。

在脉诊客观化的研究中，脉搏诊断通常借助于传感器技术和信号处理技术来实现：通过传感器将脉搏信号转换成电信号，接着对电信号进行滤波、放大及A/D转换得到数字信号，进而对该信号进行分析。通常的分析方法包括时域分析法和频域分析法^[6]。

1.2.1 时域分析法

时域分析法是最直观的一种分析方法，它主要在时间方向上对脉搏波的形态(波的形状)、强度(波的幅度)、速率(波的传播速度)及节律(波的周期)进行分析。脉搏波的时域分析法包括特征点法和脉图面积法等。

特征点法是研究脉搏波特征点的方法^[7]。脉搏波的特征点是脉搏压力曲线的拐点，它是脉搏周期中从一个力学过程到另一个力学过程的转折点。一个完整的脉搏波通常包括主波、潮波、重搏波峰和重搏波谷四个特征点，它们在脉搏波压力曲线上的变化反映了人体心血管功能状态。特征点法最大的优点是生理意义明确，容易理解；但在应用中存在有些脉图上特征点不明显，难以辨认的缺点。

脉图面积法是以脉搏波波形面积来表征不同脉搏波的方法，它是由北京工业大学罗志昌教授教授提出的^[2]。该方法通过波形特征量(K值)来量化评价脉搏波。K值的定义如式 1-1。

$$K = \frac{Pm - Pd}{Ps - Pd} \quad (1-1)$$

式中， $Pm = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)dt$ 是一个脉搏周期里的平均动脉压；Ps、Pd 分别是收缩压和舒张压，如图 1.2 所示。

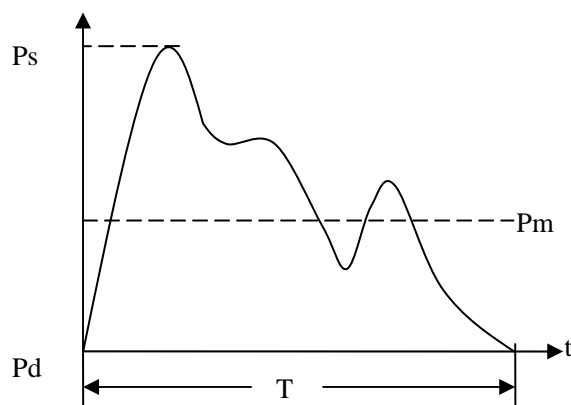


图 1.2 脉搏波波形特征量(K 值)

波形特征量的值取决于脉搏波的脉图面积，它和收缩压 P_s 及舒张压 P_d 的绝对值无关。不同生理病理状态下的脉图波形和面积会有很大的区别，其检测计算也较简单；因此，波形特征量适合作为评价脉搏波的指标。这也是国内认可度较高的脉搏波客观评价方法。

1.2.2 频域分析法

频域分析方法是现代信号处理中常用的一种方法，通过傅里叶变换将时间信号以频谱的形式表示出来，从而在频域上观察一个复杂时间信号的特征。由于离散傅里叶变换的计算过于复杂，实际应用中，通常运用快速傅里叶变换对信号进行频域分析。

脉搏波的频域分析自 20 世纪 70 年代末开始，中国科学院力学所郝敬尧等在对脉搏波进行研究时，采用了求其相对功率谱的方法^[8]；台湾新竹交通大学教授 Chun T Lee 等也对脉搏波进行了频谱分析^[9]。经过几十年来的研究表明，在脉搏波频谱中，幅值最大的分量是基波分量，而频率越高的各次谐波分量，其功率谱的幅值越小。基波到各次谐波分量的频率间隔大多是相同的。另外，近年来也有应用小波分析方法来分析脉搏信号的方法^[10]。

目前，脉搏信号的频域分析方法还只是停留在一些典型的脉图上，由于频谱分析得到的结果较抽象，其在临床应用上还有较大距离。

1.3 本论文的主要内容及意义

脉搏波诊断仪作为心血管疾病诊疗的辅助工具，应用中的主要有以下几种：北京工业大学罗志昌教授等人研制的 TP-CBS 系列心血管血流参数无损伤检测仪^[11]，合肥华科电子技术研究所研制的 HK-X 心血管功能诊断仪等。这些仪器大

都采用PC机作为处理设备，体积庞大，成本较高；另外，它们通常只提供时域分析功能。为此，本文旨在设计一种脉搏波辅助分析仪，它可实现脉搏波的时域和频域分析；由于采用了嵌入式处理器作为系统的处理核心，分析仪具有小型化和低成本的优势，在社区和家庭医疗领域具有一定的应用价值。

本文介绍分析仪时采用从底层往上层的形式，论文组织如下：

论文第一章首先介绍了脉搏波检测的意义，分析了检测脉搏波在诊断心血管疾病中的作用；接着介绍了脉搏信号分析的常用方法，包括时域分析法和频域分析法；最后，说明了研制本分析仪的意义，给出了本论文的结构。

论文第二章介绍了本分析仪的总体构成，分析了仪器需要实现的功能。依据分析仪的功能需要，选择了 Blackfin 处理器及其硬件平台。最后，对比了各嵌入式操作系统，考虑功能需求及实现难度后，确定采用嵌入式操作系统 uC/OS-II 及图形界面 uC/GUI。

论文第三章介绍了脉搏信号采集模块的研制，包括脉搏传感器的选择，信号放大和 A/D 转换的硬件及软件详细实现。最后，对所研制的信号采集模块进行了测试。

论文第四章介绍了分析仪主要功能模块的驱动程序：首先，给出了处理器时钟频率的设置；其次，分析了 SDRAM 的内部结构及其驱动方法；接着，介绍了 TFT-LCD 的工作方式，详细分析了 BF533 处理器采用 DMA 方式驱动 TFT-LCD 的方法；最后，介绍了触摸屏及其驱动芯片 ADS7843 的驱动方法。

论文第五章介绍了操作系统层的工作，包括嵌入式操作系统 uC/OS-II 的结构分析及其在 BF533 平台上的移植；给出了 uC/GUI 的移植过程，并对移植结果进行了测试。

论文第六章介绍了分析仪应用程序的编写：设计了分析仪的用户界面；介绍了脉搏信号的采集及时域波形的显示；在 BF533 上通过快速傅里叶变换实现对脉搏信号进行频谱分析；采用自适应分离法分离出单周期脉搏信号，并在此基础上计算脉搏波波形特征量(K 值)及脉搏速率。

论文第七章对本文所作的工作进行了总结，展望了本文研制的分析仪待改进的方面。

第二章 分析仪总体构成

2.1 分析仪系统方案设计

本文自行开发设计的脉搏波辅助分析仪将实现人体脉搏信号的采集，对脉搏信号进行频谱分析，并显示脉搏波时域和频域信号等结果，为中西医的脉搏诊断提供一种便携式的辅助工具。分析系统的需求，可得到系统的组成方框图，如图 2.1 所示。

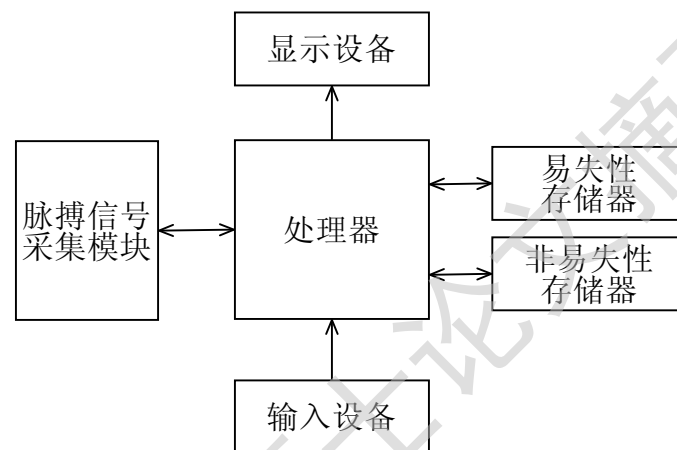


图 2.1 系统组成方框图

首先，应该选择系统的处理器。目前，应用中的嵌入式处理器主要包括嵌入式微处理器、嵌入式微控制器和嵌入式数字信号处理器这几类^[12]：嵌入式微处理器以ARM架构的处理器为代表，广泛应用于智能手机等；嵌入式微控制器俗称单片机，主要作为工业控制应用；嵌入式数字信号处理器，也就是DSP，它的主要特征是数据运算能力强，可应用于音视频编解码等大数据量运算的领域。本设计中需要对脉搏信号作频谱分析，属于大数据量的运算，因此，所选择的处理器应具有DSP的功能。本文选择ADI公司推出的Blackfin系列处理器，该系列处理器基于由Intel和ADI公司联合开发的微信号结构(Micro Signal Architecture)。MSA将数字信号处理(DSP)和位控制功能集成到单片内核中，使其既有能力执行高复杂度的DSP算法，又能够实现基本的控制任务^[13]。

脉搏信号采集模块实现将脉搏信号由物理量转换成数字信号的功能，本文采用单片机作为该模块的控制核心。显示设备采用TFT-LCD，TFT-LCD具有响应速度快、色彩丰富等优点^[14]。在液晶屏上加上触摸屏，作为系统的输入设备，可以有效地减小仪器的体积，使仪器便于携带。而系统中的易失性存取器即系

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库